

LACE Wissenstransfer-Notiz Nr. 4

Ressourcendruck: eine zirkuläre Design- methode

Design ist ein grundlegender Schritt im Entscheidungsprozess, der die Kreislauffähigkeit von Produkten und Dienstleistungen wesentlich beeinflusst. Damit Designer/innen bewusste Entscheidungen treffen können, brauchen sie eine Methode, die sich einfach anwenden lässt und ihnen dabei hilft, den Zusammenhang zwischen den vielfältigen Designparametern und dem Druck auf die Ressourcen zu quantifizieren.



Verweis auf das ursprüngliche Forschungspapier:

Desing, H., Braun, G., & Hischier, R. (2021). Resource pressure – A circular design method. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105179. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105179>

Design spielt eine Schlüsselrolle in der Kreislaufwirtschaft

Der Designprozess ermöglicht, bereits zu Beginn des Lebenszyklus von Produkten Entscheidungen über die Menge und Qualität von Materialien zu treffen und darüber, wieviel Energie für die Produktion und den Betrieb benötigt wird. Das Design ermöglicht, weniger von bestimmten Ressourcen einzusetzen (z.B. Primärressourcen wie Metalle oder Mineralien) und dafür mehr von anderen Ressourcen zu verwenden (z.B. recycelte Materialien), wodurch der Gesamtverbrauch an Ressourcen verkleinert wird. Die Art und Weise, wie Dinge designt werden, beeinflusst ausserdem die Nutzungs-

phase sowie die Handlungsoptionen am Lebensende und bestimmt die Menge und Qualität der Materialien und Komponenten, die wiederverwertet werden können.

Design ist ein Schlüsselfaktor, um eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen, indem es den Material- und Energieverbrauch, die Abfallproduktion und die Umweltauswirkungen verringert und gleichzeitig die Umsetzung von Kreislaufstrategien vereinfacht (z. B. durch die Gestaltung von Produkten, die leicht repariert und gewartet werden können).

Für Kreislaufdesign fehlen die richtigen Werkzeuge

Es gibt bereits verschiedene Ökodesign-Instrumente zur Abschätzung der Umweltauswirkungen von Produkten, die mit der Kreislaufwirtschaft oder allgemeineren Nachhaltigkeitskonzepten verbunden sind. Trotzdem ist es schwierig, das geeignetste Instrument auszuwählen, da sie oft sehr **komplex und zeitaufwendig** in der Anwendung sind. Daneben gibt es breite Ökodesign-Richtlinien, die einfacher zu verwenden sind, aber oft **zu allgemein** bleiben und **nicht die notwendige quantitative Perspektive bieten**.

Daher braucht es eine einfach anzuwendende Methode, die den Designer/innen von Anfang an klare Anhaltspunkte bietet, ohne zu viele zusätzliche Kenntnisse und Daten zu fordern.

Um diese Herausforderung dreht sich die Forschung von Wissenschaftler der Empa, der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, die im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms

«Nachhaltige Wirtschaft» (NFP 73) - Projekt «Laboratory for Applied Circular Economy» (LACE) - durchgeführt wurde.

Die Forschenden schlagen einen **neuen Indikator zur Entscheidungshilfe** vor, den so genannten **«Ressourcendruck» (quantitative Perspektive), zusammen mit Designrichtlinien (qualitative Perspektive)**. Die Methode beabsichtigt, die **Auswahl von Materialien und Kreislaufstrategien bereits von frühen Designphasen an zu lenken**, mit dem Ziel, den Druck auf die Primärressourcen zu verringern und den Nutzen der Materialien für unser sozioökonomisches System zu maximieren.

Die qualitativen Designrichtlinien können in der frühen Phase des Designs, wenn die erforderlichen Daten für den quantitativen Indikator noch fehlen, verwendet werden, um die Konzeption daran zu orientieren, während der quantitative Indikator die Auswirkungen der Designinterventionen auf den Ressourcenverbrauch messen kann. Diese

Kombination ist eine vorteilhafte Eigenschaft der Methode, die bei anderen Designansätzen oft fehlt. Die quantitative Perspektive der Methode kann mit Gleichungen, die in der

Studie zu finden sind, numerisch berechnet werden. Der Einfachheit halber wird in dieser Notiz nur auf die qualitativen Aspekte der Methode eingegangen.

Die Ressourcendruck-Methode kurz erklärt

Die Methode des Ressourcendrucks konzentriert sich auf die Umweltauswirkungen, die durch den Verbrauch von Ressourcen entstehen, und misst den Druck, den ein Produkt auf die nachhaltig verfügbaren Ressourcen ausübt. Um den Indikator zu

entwickeln (siehe c.), ist es zuerst notwendig, die **ökologisch nachhaltige Verfügbarkeit von Ressourcen** zu definieren (siehe a.) und die Materialflüsse, welche mit dem Produkt zusammenhängen, festzulegen (Grenzen des **«Produktsystems»**, siehe b.).

a. **Ökologisches Ressourcenbudget als Benchmark.** Das «ökologische Ressourcenbudget» (ÖRB) kann als Benchmark verwendet werden, um zu definieren, wie viel eines Materials theoretisch produziert werden kann, ohne die Erdsystemgrenzen zu überschreiten. Zur Berechnung dieses Budgets können verschiedene Methoden angewandt werden. Diese Studie verwendet die Methode des ökologischen Ressourcenpotenzials (ÖRP).

Das ÖRP stellt den Materialfluss dar, der mit einer gewählten Wahrscheinlichkeit die einzelnen globalen Grenzen nicht verletzt. Dies ist ein relatives Mass für den Vergleich verschiedener Materialien, die durch unterschiedliche Grenzen des Erdsystems limitiert sein können. Die Verwendung von ÖRP ermöglicht es, ein Design festzulegen, das die Umweltauswirkungen minimiert. Die notwendigen Daten zur Berechnung der ÖRP sind die Unsicherheitsverteilungen der Erdsystemgrenzen und die Auswirkungen, die durch den Abbau, Produktion und endgültige Entsorgung von Primärrohstoffen verursacht werden. Alternativ wäre es auch möglich, Budgets der ökologischen Ressourcenverfügbarkeit (ÖRV) zu verwenden. Diese stellen absolute Ressourcenbudgets dar, die gleichzeitig alle gesellschaftlichen Aktivitäten berücksichtigen. Die Berechnung von ÖRV erfordert die Zuordnung von Erdsystemgrenzen zu bestimmten Aktivitäten (siehe Notiz Nr. 3 für weitere Informationen).

b. **Materialflüsse in einem Produktsystem.** Ein «Produktsystem» stellt den kontinuierlichen Fluss von Materialinputs und -outputs (Emissionen und Abfall) dar, die notwendig sind, um die Funktionsfähigkeit eines bestimmten Produkts oder einer Dienstleistung im Laufe der Zeit zu gewährleisten.

Materialflussanalyse

Die Materialflussanalyse (MFA) ist eine Methode zur Quantifizierung von Material- oder Stoffströmen und -beständen in einem genau definierten System. Im Falle eines Produkts oder einer Dienstleistung werden die Systemgrenzen um die Inputs und Outputs herum festgelegt, welche nötig sind, um die Funktionsfähigkeit des definierten Produkts/ Dienstleistung zu gewährleisten.

Die in Abbildung 1 dargestellten Inputs und Outputs eines Produktsystems können in verschiedene Gruppen eingeteilt werden:

- *Konsumierte Materialien*: Primärrohstoffinputs (z.B. Treibstoff) und Verluste am Lebensende (z.B. Emissionen);
- *Recycelte Materialien*: Materialien mit geschlossenen Kreisläufen, bei denen der Materialoutput nicht an Qualität verliert und daher ein Input innerhalb desselben Produktsystems sein kann;
- *Kaskadierte Materialien*: Wenn ein Material nicht mehr für dieselbe Funktion verwendet werden kann, kann es für minderwertige Anwendungen eingesetzt und als Input (d.h. Sekundärrohstoff) in ein anderes Produktsystem kaskadiert werden.

Aufgrund des Massenerhaltungsgesetzes wird jeder Input irgendwann in einen Output umgewandelt, spätestens am Ende des Lebenszyklus. Wenn die Stoffströme des Systems über die Zeit betrachtet werden, kann das Produktsystem als Fließgleichgewicht verstanden werden, d.h. es benötigt konstante Inputs und erzeugt konstante Outputs.

Das bedeutet, dass nicht nur der Primärrohstoffkonsum Druck auf die Ressourcen ausübt, sondern auch, dass Verluste am Ende der Lebensdauer eines Produkts zu einer erhöhten Nachfrage nach Primärrohstoffen an anderer Stelle im Wirtschaftssystem führen.

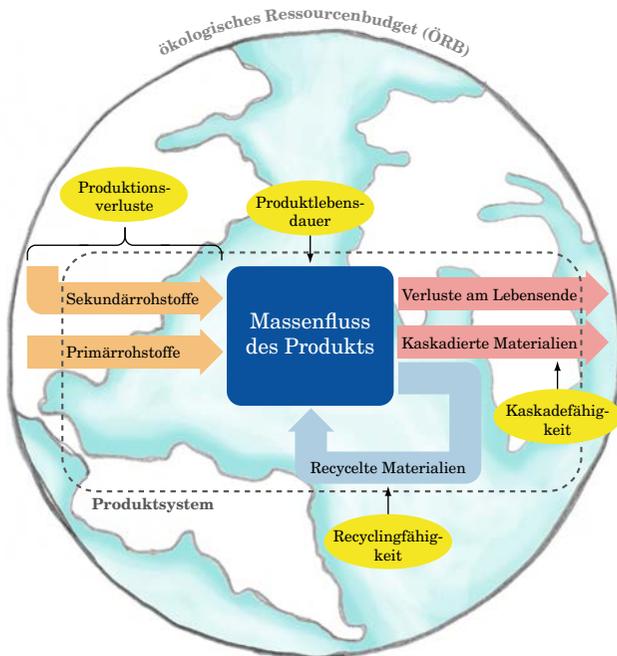


Abbildung 1 - Materialflüsse in einem Produktsystem und Designparameter beeinflussen die Ströme (und damit den Ressourcendruck)

C. **Die Designparameter.** Ausgehend von dem zuvor beschriebenen Fließgleichgewicht ist das Design fundamental, da es den Ressourcendruck auf beiden Seiten beeinflussen kann, indem es sich auf die Qualität und die Quantität der Inputs (z.B. durch die Wahl der Materialien) und der Outputs (z.B. Kaskadefähigkeit) auswirkt.

Um zu bewerten, wie das Design den Druck auf die Ressourcen beeinflusst, wird das Augenmerk auf die Materialwahl zusammen mit verschiedenen Designparametern gelegt. Nachfolgend werden die verschiedenen Schritte der Designrichtlinien vorgestellt.

- **Materialwahl:** Die Wahl der Materialien kann sich stark auf die Umweltauswirkungen auswirken, sie beeinflusst jedoch auch andere Designparameter wie Lebensdauer, Recyclingfähigkeit oder Produktionsverluste;
- **Masse des Produkts:** Designunterschiede bei einem Produkt oder einer Dienstleistung können, ohne die Funktionalität zu beeinträchtigen, die benötigte Masse an Rohstoffen verändern (z.B. können leichtere und kompaktere Versandboxen das Gewicht und Volumen verringern, was den Transport und den Materialeinsatz optimiert und den Druck auf die Ressourcen verkleinert);
- **Produktlebensdauer:** Die Veränderung der Produktlebensdauer durch Design kann sich auf den Materialbedarf pro Nutzungseinheit auswirken (z.B. erhöht die Verwendung langlebiger Materialien die Lebensdauer des Produkts und verringert den Materialfluss für ein Produkt im Laufe der Zeit);
- **Produktionsverluste:** Je nach Fertigungstechnologie geht bei der Herstellung mehr oder weniger Material verloren (z.B. durch Schleifspäne). Diese Verluste können gesammelt und recycelt oder kaskadiert werden;
- **Recyclingfähigkeit:** Das Design kann die Möglichkeit beeinflussen, Materialien in gleicher Qualität wiederzuverwenden (z.B. kann Modularität das Trennen von Materialien beim Recycling verbessern, was zu einer geringeren Verunreinigung führt);
- **Primärrohstoffgehalt:** Primärrohstoff kann bis zu einem gewissen Grad durch Sekundärrohstoff ersetzt werden, der aus einem anderen Produktsystem stammt. Je nach den Anforderungen an das Design (Farbe, Aussehen, mechanische Eigenschaften usw.) ist mehr oder weniger Primärrohstoff erforderlich;
- **Kaskadefähigkeit:** Unterschiedliche Designs können sich auf die Kaskadefähigkeit auswirken, die wichtig ist, um die Lebensdauer von Materialien zu verlängern, indem sie mehrfach kaskadiert werden können, bis die Qualität des Materials zu gering wird.

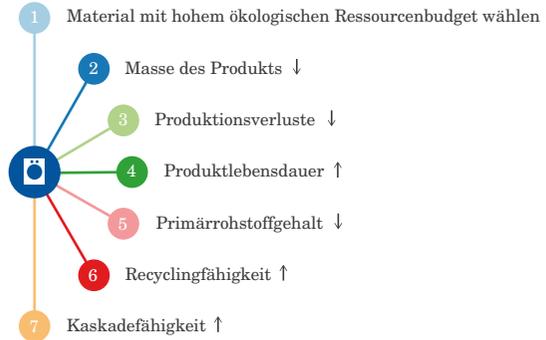
Design Richtlinien

Ausgehend von der Definition der nachhaltig verfügbaren Ressourcen, der Identifikation der für ein Produktsystem notwendigen Stoffströme sowie der Designparameter, die

den Ressourcendruck beeinflussen können, lassen sich qualitative Designrichtlinien (wie in Abbildung 2 nächste Seite dargestellt) ableiten.

Abbildung 2 - Qualitative Richtlinien für zirkuläres Design

(↓ bedeutet verkleinere den Parameter so weit wie möglich, ↑ bedeutet vergrößere den Parameter so weit wie möglich)



Die Richtlinien sollen als Faustregel beim Erstellen von Designalternativen dienen, wobei sie eher allgemein gehalten sind und keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben.

Die Richtlinien sollen das Konzipieren von Designänderungen unterstützen, die mit Hilfe des Ressourcendruckindicators quantitativ evaluiert werden können.

Anwendung der Ressourcendruckmethode auf eine reale Produktdesignentscheidung

Um die Ressourcendruck-Methode zu testen, wird sie auf eine reale Fallstudie angewendet, die in Zusammenarbeit mit V-Zug definiert wurde. Die Methode wird eingesetzt, um verschiedene mögliche Designs eines Wärmetauschers zu vergleichen. Bei einem Wärmetauscher handelt es sich um ein Element einer Wärmepumpe, das zur Reduktion des Strombedarfs in Wäschetrocknern eingesetzt werden kann.

Der Wärmetauscher wurde für die Fallstudie ausgewählt, weil die Designer/innen bewerten wollten, welche Materialalternative (Aluminium oder Kupfer) aus Umweltsicht vorzuziehen ist, und weil die Designänderungen des Wärmetauschers auf die Leistung des Geräts in der Nutzungsphase eine vernachlässigbare Auswirkung haben.

Es gibt zwei verschiedene Designoptionen, die unterschiedliche Strukturen, Materialanforderungen, Herstellungsverfahren und Auswirkungen haben:



• *Design 1 - nur Aluminium (Al/Al):* weist aufgrund der geringeren Wärmeleitfähigkeit ein voluminöses Design auf. Bei der Herstellung gibt es Produktionsverluste (die jedoch recycelt werden). Am Ende der Lebensdauer muss das Produkt geschreddert werden, was zu einer Verunreinigung des Aluminiums führt und nicht recycelt werden kann und daher in minderwertige Gusslegierungen kaskadiert werden muss.



• *Design 2 - Kupfer und Aluminium (Cu/Al):* Die unterschiedlichen Materialien ermöglichen eine andere Struktur, die weniger Produktionsverluste verursacht und eine kleinere Größe des Wärmetauschers ermöglicht. Für diese Ausführung wird Kupfer auf dem Weltmarkt beschafft, welches 1/3 Sekundärkupfer enthält. Am Ende des Lebenszyklus ist Kupfer gut recycelfähig.

Das Aluminium hingegen ist mit anderen Elementen verunreinigt und kann nur in Gusslegierungen kaskadiert werden.

Vergleicht man diese zwei ursprünglichen Designoptionen für den Wärmetauscher (siehe Abbildung 3 unten), so zeigt sich, dass das Design aus Kupfer und Aluminium (Cu/Al) einen tieferen Ressourcendruck aufweist. Dieses Ergebnis ergibt sich aus den geringeren Herstellungsverlusten, der Möglichkeit, Sekundärrohstoffe zu verwenden, und der Recyclingfähigkeit von Kupfer am Ende des Lebenszyklus.

Durch eine Änderung der Designkonstruktion des Wäschetrockners kann der Wärmetauscher am Ende seiner Lebensdauer leicht entfernt werden. Das Ausbauen des Wärmetauschers vor dem Schreddern ermöglicht ein gezielteres Recycling und erhöht die Recyclingfähigkeit der Metalle. Beim Al/Al-Design erleichtert die modulare Bauweise die Demontage und die separate Rückgewinnung, wodurch Verunreinigungen

vermieden werden und die **Recyclingfähigkeit** von Aluminium erhöht wird, während die **Kaskadefähigkeit** abnimmt.

Dies gilt nicht für das Cu/Al-Design, weil die Trennung der beiden Materialien zu arbeitsintensiv wäre, um wirtschaftlich rentabel zu sein, und weil Schreddern zum Trennen der beiden Materialien auch dann erforderlich ist, wenn der Wärmetauscher ausgebaut wird.

Durch das Einführen der Modularität ändert sich also der Ressourcendruck der beiden Produkte, so dass die Designoption Al/Al vorteilhafter ist als Cu/Al (siehe Abbildung 4 unten).

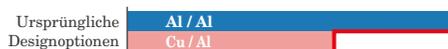


Abbildung 3 – Vergleich des Ressourcendrucks von zwei unterschiedlichen Designoptionen des Wärmetauschers

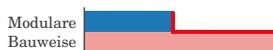


Abbildung 4 – Vergleich des Ressourcendrucks der beiden Designoptionen, wenn eine modulare Bauweise angewandt wird

Fazit

Durch die Anwendung der Methode auf eine Fallstudie haben die Autoren bewiesen, dass die Berechnungen mit nur sechs Parameter einfach sind und während des Designprozesses schnell durchgeführt werden können. Die Ergebnisse können eine klare Orientierungshilfe für das Design bieten, indem sie den Einfluss jedes Parameters auf den Ressourcendruck aufzeigen. Die Recyclingfähigkeit und die Kaskadefähigkeit sind jedoch immer noch schwer abzuschätzen und erfordern spezifische Kenntnisse, die in den

Designteams nicht immer vorhanden sind.

Die zur Berechnung des Indikators für den Ressourcendruck benötigten Daten werden auch als Input für Lebenszyklusanalysen (LCA) verwendet. Dies bedeutet, dass der Ressourcendruck als vorläufige Methode in der Entwurfsphase verwendet werden kann und somit nicht darauf abzielt, die Ökobilanz zu ersetzen, sondern der Ökobilanz vorausgehen und im Nachhinein durch eine Ökobilanz des Endprodukts validiert werden kann.

Was ist NFP 73?

Dieses Forschungsprojekt wird im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Wirtschaft: ressourcenschonend, zukunftsfähig, innovativ» (NFP 73) des Schweizerischen Nationalfonds (SNF) durchgeführt.

Das NFP 73 hat zum Ziel wissenschaftliche Erkenntnisse über eine nachhaltige Wirtschaft mit schonender Nutzung natürlicher Ressourcen, mehr Wohlfahrt und erhöhter Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandortes Schweiz zu erarbeiten. Das NFP 73 berücksichtigt dabei die Umwelt, die Wirtschaft und die Gesellschaft, betrachtet sämtliche natürliche Ressourcen und alle Stufen der Wertschöpfungskette.



Nachhaltige Wirtschaft
Nationales Forschungsprogramm

Weitere Informationen zum Nationalen Forschungsprogramm finden Sie unter:

www.nfp73.ch

Was ist LACE?

Das Labor für angewandte Kreislaufwirtschaft (Laboratory for Applied Circular Economy, kurz LACE) ist ein inter- und transdisziplinäres Projekt, an dem Forschende aus drei Schweizer Hochschulen und aus verschiedenen Disziplinen beteiligt sind: Umwelt- und Materialwissenschaften, Betriebswirtschaft sowie Rechts- und Politikwissenschaften. Das LACE-Projekt arbeitet mit sieben namhaften Partnerunternehmen zusammen, um zu zeigen, wie die ressourceneffizienten Muster der Kreislaufwirtschaft und die damit verbundenen Geschäftsmodelle in den Wertschöpfungsketten der beteiligten Unternehmen implementiert werden können. Ziel des Projektes ist es, zu zeigen, dass die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft für Schweizer Unternehmen ökologisch vorteilhaft und profitabel sein können. Die Stiftung sanu durabilitas ist Wissenstransferpartnerin des LACE-Projektes.



Weitere Informationen zum Labor für angewandte Kreislaufwirtschaft finden Sie unter:

www.nfp73.ch/de/projekte/kreislaufwirtschaft/labor-fuer-eine-kreislaufwirtschaft

Was ist sanu durabilitas?

Die Stiftung sanu durabilitas ist ein unabhängiger Think and Do Tank mit Sitz in Biel/Bienne. Ihr Ziel ist es, neue praxisorientierte und wirkungsvolle Lösungen für den Übergang zu einer nachhaltigen Schweiz zu entwickeln, die in Wirtschaft, Politik und Verwaltung Anwendung finden, sowie die institutionellen Rahmenbedingungen für Nachhaltigkeit zu verbessern. In Zusammenarbeit mit Partner/innen aus Forschung, Wirtschaft, Politik, Verwaltung und Zivilgesellschaft identifiziert sanu durabilitas erfolgversprechende Lösungen, entwickelt sie weiter, erprobt ihre Anwendung in der Praxis, erarbeitet Empfehlungen und bringt sie den Entscheidungsträger/innen und der Öffentlichkeit zur Kenntnis. Die aktuellen Schwerpunkte von sanu durabilitas sind Kreislaufwirtschaft, nachhaltige Nutzung der Ressource Boden und soziale Kohäsion in einer sich wandelnden Gesellschaft.



Weitere Informationen zu sanu durabilitas finden Sie unter:

www.sanudurabilitas.ch